

Kazimierz H. Dyguś¹, Monika Madej¹

ROŚLINNOŚĆ WIELOWARIANTOWEGO DOŚWIADCZENIA MODELOWEGO NA ZŁOŻU ODPADÓW PALENISKOWYCH ENERGETYKI WĘGLOWEJ

Streszczenie. Pierwszy etap doświadczenia dotyczący rekultywacyjnej efektywności kompostów i osadu ściekowego zrealizowano w latach 2006-2007 [Siuta i in. 2008]. Etap drugi realizowano w latach 2011-2012 z uwzględnieniem badań flory wykształconej głównie w wyniku sukcesji naturalnej. Zbadano: pokrycie roślin, zagęszczenie, żywotność, fazy rozwoju generatywnego oraz biometryczne cechy osobników. Gatunki roślin oceniono pod względem morfologicznym, biologicznym, ekologicznym oraz przynależności do grupy taksonomicznej, syntaksonomicznej, geograficzno-historycznej i form życiowych gatunków. Wyniki badań florystycznych i ekologicznych dowodzą, że stosowanie kompostów i osadów ściekowych tworzy korzystne warunki dla rozwoju spontanicznej pokrywy roślinnej na złożach odpadów paleniskowych.

Słowa kluczowe: rekultywacja biologiczna, roślinność, odpady paleniskowe energetyki węglowej, kompost, osad ściekowy.

WSTĘP

Składowiska odpadów energetyki węglowej, ze względu na ich drobnoziarnistą strukturę, wykazują dużą podatność na erozję wietrzną i wodną. Techniczne sposoby utrwalania takich składowisk nie eliminują uciążliwości pyłowej. Zminimalizowaniu a nawet zlikwidowaniu pylenia i rozmywania złóż odpadów paleniskowych może skutecznie zapobiec ukształtowanie pokrywy roślinnej [Siuta 2005].

Biologiczna rekultywacja składowisk odpadów paleniskowych, z wykorzystaniem złóż glebotwórczych i roślinności, jest coraz powszechniej stosowana i udoskonalana [Hryncewicz i in. 1972; Żak 1972; Wysocki 1984, 1988; Siuta 2002; Dyguś i in. 2012]. W tym celu przeprowadzono wiele badań eksperymentalnych, modelowych i polowych [Kozłowska 1995; Siuta i in. 1997; Siuta 2005; Siuta, Kutla 2005; Siuta i in. 2008; Klimont 2011].

Metody biologicznej rekultywacji wymagają dużych zasobów ziemi próchnicznej i nakładów finansowych. Tańszym rozwiązaniem jest zainicjowanie procesu glebotwórczego w celu uzyskania odpowiednich warunków siedliskowych do wzrostu

¹ Wydział Ekologii, Wyższa Szkoła Ekologii i Zarządzania w Warszawie, e-mail:

i ukształtowania się pokrywy roślinnej. W tym celu stosuje się nawozy organiczne ze względu na duże zawartości składników pokarmowych i substancji próchnicotwórczych. Są to głównie osady ściekowe, komposty, odpady komunalne, torf itp. Wprowadzenie tych substancji na wierzchnią warstwę popiołów paleniskowych inicjuje życie biologiczne a następnie proces glebotwórczy, stwarzając warunki do rozwoju roślin. Materia organiczna tworzy kompleks sorpcyjny chłoning składniki pokarmowe i wodę [Gilewska 1999; Gilewska, Przybyła 2011; Polkowski, Sułek 1999; Wasiak i in. 1999; Wasiak, Mamelka 1999; Siuta 2005; Siuta 2007; Siuta i in. 2008; Klimont 2011].

Poprawnie wykonana rekultywacja tworzy warunki do ukształtowania pokrywy roślinnej złożonej z agrotechniczne wprowadzonych i spontanicznie wykształconych roślin rekultywacyjnych [Góral 2001]. Do roślin najbardziej przydatnych w rekultywacji Góral [2001] zalicza gatunki z rodzin motylkowatych i krzyżowych, w przypadku stosowania osadu ściekowego; z kolei przy zastosowaniu kompostów podobną rolę mogą pełnić gatunki chwastów segetalnych z rodziny komosowatych i niektóre taksony z grupy roślin ruderalnych.

CEL, OBIEKT I METODY BADAŃ

Celem badań była ocena ilościowo-jakościowej struktury i cech ekologicznych wysianych i spontanicznych roślin rekultywacyjnych, wegetujących na doświadczalnym złożu odpadów paleniskowych, zasilanych kilkoma wariantami substancji użyźniających.

Rekultywacyjną efektywność substancji użyźniających badano na złożu odpadów paleniskowych z energetyki węglowej w dwóch etapach. Etap I zrealizowano w latach 2006-2007 [Suta i in. 2008]. W II etapie (lata 2011-2012) prowadzono szczegółowe obserwacje florystyczne. Comiesięcznie spisywano gatunki roślin oraz oceniano ich pokrycie w procentach. Notowane gatunki roślin poddano ocenie morfologicznej i biologicznej oraz analizie ekologicznej, z uwzględnieniem przynależności do grupy taksonomicznej, syntaksonomicznej, geograficzno-historycznej oraz formy życiowej gatunków.

Modelowe złoża odpadów paleniskowych ukształtowano w pojemnikach cylindrycznych o średnicy 80 cm (0,5 m² powierzchni) i wysokości 100 cm. Pojemniki ze złożem odpadów paleniskowych zostały użyźnione następującymi substancjami: mieszanką NPK bez zasilania organicznego (NPK), kompostem Radiowo (kR), kompostem Complex (kC), kompostem roślinnym (kr), kompostem ZUSOK (kZ) i osadem ściekowym (O). Na jeden wariant doświadczenia przypadało sześć pojemników, po dwa na każdą z trzech dawek substancji użyźniających (pojedynczą, podwojoną i potrojoną)

Badania II etapu przeprowadzono w latach 2011-2012. Wysiano mieszankę czterech gatunków traw (życica trwała Stadion, wiechlina łąkowa Evon, kostrzewa trzici-

nowa Starlett, kostrzewa czerwona Maxima) oraz gorczycę jasną (białą). W okresach niedoboru wilgoci rośliny zasilano wodą. W czerwcu, sierpniu i październiku 2011 r. zebrano plony roślin. Masę roślinną wysuszono i zważono. Zbiór październikowy 2011 r. analizowano na zawartości azotu, fosforu, potasu, wapnia, magnezu i sodu. Przeprowadzone także analizy fizykochemiczne wierzchnich warstw złóż w pojemnikach.

Obserwacje florystyczne prowadzono comiesięcznie. Od maja do października uzupełniano listę florystyczną pod względem jakościowo-ilościowym. Badano pokrycie roślin, zagęszczenie, żywotność, fazę rozwoju generatywnego oraz podstawowe cechy biometryczne osobników.

Dane taksonomiczne opracowano według „Klucza do oznaczania roślin naczyniowych Polski niżowej” [Rutkowski 1998]. Nomenklaturę jednostek grup syntaksonomicznych zastosowano według Matuszkiewicza [2001]. Klasyfikację i udział form życiowych flory opracowano według Raunkiaera [Zarzycki i in. 2002]. Analizę geograficzno-historyczną roślin przeprowadzono na podstawie opracowań Mirka i in. [2002]. Nazewnictwo łacińskie roślin naczyniowych przyjęto według Mirka i in. [2002].

Plonowanie roślin oraz wyniki analiz chemicznych roślin i złóż będą przedmiotem oddzielnej publikacji.

WYNIKI BADAŃ

Skład florystyczny

Procentowy udział pokrycia roślin w pojemnikach doświadczalnych z poszczególnymi wariantami wykazano w tabeli zbiorczej (tab. 1). Notowano 67 gatunków roślin, które poddano analizie florystyczno-fitosocjologicznej, taksonomicznej i ekologicznej.

Udziały flory według wariantów substancji użyźniających zestawiono łącznie dla wszystkich dawek nawożenia, ponieważ nie stwierdzono wyraźnego zróżnicowania flory pod względem ilościowym i jakościowym w ramach każdej z trzech kombinacji danego wariantu przeprowadzonego doświadczenia.

Zdecydowana większość roślin cechowała się bardzo dobrą żywotnością, a biometryczne parametry organów często przewyższały wysokością i wielkością biomasy pędów ich odpowiedniki występujące w warunkach naturalnych (tab. 2). Florę analizowano ekologicznie uwzględniając udział grup systematycznych, syntaksonomicznych i formy życiowe roślin (tab. 3). Analizowano liczebność gatunków i ich pokrycie. Liczba gatunków, z uwzględnieniem udziału rodzin, jest ważnym wskaźnikiem możliwości rekultywacyjnych aplikowanej na złożu substancji nawozowej (tab. 4).

Zewidencjonowana flora należała do 17 taksonów w randze rodzin. Najliczniejszy udział gatunkowy miała rodzina złożone (*Asteraceae*) – 18 gatunków (26,9%). Dość licznie wystąpiły także gatunki rodzin: komosowatych (*Chenopodiaceae*) – 9 gatunków (13,4%), krzyżowych (*Brassicaceae*) – 8 (11,9%) oraz motylkowatych (*Fabaceae*) i traw (*Poaceae*) – po 6 (8,9%). Wykazano pewne zróżnicowanie liczby gatunków w poszczególnych rodzinach (tab. 4).

Tabela 1. Udział flory w pojemnikach wielowariantowego doświadczenia na złożu odpadów paleniskowych

| Lp. | Gatunek (gwiazdką zaznaczono gatunki wysiane w 2011 r.) | Wariant nawożenia i % pokrywania gatunku w latach 2011 i 2012 | | | | | | | | | | | |
|-----|---|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | NPK | | kR | | kC | | kr | | kZ | | O | |
| | | 2011 | 2012 | 2011 | 2012 | 2011 | 2012 | 2011 | 2012 | 2011 | 2012 | 2011 | 2012 |
| 1 | * <i>Lolium perenne</i> var. Stadion (zycica trwała Stadion) | 15 | 1 | 15 | 5 | 15 | 1 | 20 | 5 | 15 | 5 | 25 | 10 |
| 2 | * <i>Poa pratensis</i> var. Evona (wiechlina łąkowa Evon) | 15 | 5 | 10 | 5 | 20 | 5 | 25 | 1 | 25 | 10 | 15 | 5 |
| 3 | * <i>Festuca arundinacea</i> var. Starlett (kostrzewa trzcinowa Starlett) | 10 | 5 | 15 | 10 | 10 | 1 | 15 | 5 | 20 | 5 | 25 | 10 |
| 4 | * <i>Festuca rubra</i> var. Maxima (kostrzewa czerwona Maxima) | 10 | 1 | 5 | 1 | 15 | 5 | 10 | 1 | 20 | 1 | 20 | 1 |
| 5 | * <i>Sinapis alba</i> (gorczyca jasna) | 15 | | 25 | + | 20 | | + | | 1 | | 1 | |
| 6 | <i>Solidago canadensis</i> (nawłóć kanadyjska) | 10 | 5 | 5 | 10 | | | 5 | 10 | + | 1 | 1 | 5 |
| 7 | <i>Impatiens parviflora</i> (niecierpek drobnokwiatowy) | 1 | 15 | | | 5 | 20 | | + | 1 | 15 | 5 | 5 |
| 8 | <i>Medicago falcata</i> (lucerna sierpowata) | + | + | 10 | 1 | + | 1 | + | + | | | + | 5 |
| 9 | <i>Lamium maculatum</i> (jasnota plamista) | 1 | + | | | | | | | | | | |
| 10 | <i>Lycopus europaeus</i> (karbieniec pospolity) | + | | | | + | + | | | | | | |
| 11 | <i>Calamagrostis epigejos</i> (trzcinnik piaskowy) | + | + | | | + | + | | | | | | |
| 12 | <i>Conyza canadensis</i> (konyza kanadyjska) | 5 | 5 | 5 | 10 | 1 | 10 | 5 | 10 | + | 1 | 1 | 5 |
| 13 | <i>Cirsium vulgare</i> (ostrożeń lancetowaty) | + | + | | | + | + | | | | + | + | |
| 14 | <i>Plantago intermedia</i> (babka wielonasienna) | 1 | 5 | | | + | 1 | | + | | | + | 1 |
| 15 | <i>Stellaria media</i> (gwiazdnica pospolita) | 1 | 5 | | | 1 | 5 | 10 | 10 | 1 | 5 | 5 | 10 |
| 16 | <i>Trifolium arvense</i> (koniczyna polna) | 1 | 10 | | | 5 | 10 | | | | + | + | 1 |
| 17 | <i>Bidens tripartita</i> (uczep trójlistkowy) | | + | 10 | 5 | | + | + | + | | + | | |
| 18 | <i>Sonchus arvensis</i> (mleczyk polny) | 1 | 15 | 5 | 15 | | 1 | 1 | 15 | 1 | 10 | 1 | 10 |
| 19 | <i>Polygonum aviculare</i> (rdest ptasi) | + | 1 | 5 | 10 | | 1 | 1 | 5 | + | 1 | | 1 |
| 20 | <i>Sonchus oleraceus</i> (mleczyk zwyczajny) | + | + | 1 | 1 | + | + | | | | + | + | 1 |
| 21 | <i>Trifolium repens</i> (koniczyna biała) | 5 | 5 | 5 | 15 | 1 | 10 | 5 | 10 | + | 1 | | 1 |
| 22 | <i>Chenopodium album</i> (komosa biała – lebioda) | 5 | 15 | 10 | 20 | 1 | 25 | 1 | 20 | + | 10 | 1 | 15 |
| 23 | <i>Sinapis arvensis</i> (gorczyca polna – ognicha) | | + | + | | | + | + | | + | | | + |
| 24 | <i>Acer negundo</i> (klon jesionolistny) | + | | | | + | | | | | | | |
| 25 | <i>Bidens frondosa</i> (uczep amerykański) | + | 1 | 1 | 5 | + | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 26 | <i>Solidago gigantea</i> (nawłóć późna) | 1 | 5 | | | + | 1 | | | + | 1 | 1 | 5 |
| 27 | <i>Artemisia vulgaris</i> (bylica pospolita) | | + | + | + | + | + | + | | + | + | + | + |

| | | | | | | | | | | | | | |
|----|--|---|---|---|----|---|---|---|---|---|----|---|---|
| 28 | <i>Matricaria maritima</i> subsp. <i>inodora</i> (maruna nadmorska bezwonna) | | + | | | + | + | | + | | + | | |
| 29 | <i>Taraxacum officinale</i> (mniszek pospolity) | 1 | 5 | 5 | 15 | + | 1 | 1 | 5 | 1 | 15 | | + |
| 30 | <i>Vicia cracca</i> (wyka ptasia) | + | + | | | | | | | | | | + |
| 31 | <i>Cirsium oleraceum</i> (ostrożeń warzywny) | + | + | | | | | + | + | | | | |
| 32 | <i>Chenopodium murale</i> (komosa murowa) | | | 1 | 10 | + | 5 | | | + | 1 | | + |
| 33 | <i>Raphanus raphanistrum</i> (rzodkiew świrzepa) | | | + | 10 | | + | | | + | 1 | | + |
| 34 | <i>Sisymbrium loeselii</i> (stulisz Loesela) | | 1 | + | 5 | 1 | 5 | | + | + | 5 | | |
| 35 | <i>Sisymbrium officinale</i> (stulisz lekarski) | | | + | 1 | | | | | | | | 1 |
| 36 | <i>Sonchus asper</i> (mlecz kolczasty) | | | 1 | + | | | | | | | | |
| 37 | <i>Medicago lupulina</i> (lucerna nerkowata) | | | 1 | 5 | | | | 1 | | 1 | | 1 |
| 38 | <i>Tussilago farfara</i> (podbiał pospolity) | | | 1 | + | | | 5 | 1 | | | | |
| 39 | <i>Dactylis glomerata</i> (kupkówka pospolita) | | | | + | | | | | | | | |
| 40 | <i>Chenopodium polyspermum</i> (komosa wielonasienna) | | | + | 1 | | | | | | | | |
| 41 | <i>Cirsium arvense</i> (ostrożeń polny) | | | + | + | | + | + | 1 | + | + | + | 1 |
| 42 | <i>Chenopodium urticum</i> (komosa trójkątna) | | | | | | + | | | | | | |
| 43 | <i>Plantago major</i> (babka zwyczajna) | | | | | | | + | 1 | + | 1 | | |
| 44 | <i>Trifolium hybridum</i> (koniczyna białoróżowa) | | | | | | | + | 1 | + | 1 | | + |
| 45 | <i>Rumex acetosa</i> (szczaw zwyczajny) | | | | | | | | + | | + | | |
| 46 | <i>Geranium pyrenaicum</i> (bodziszek pirenejski) | | | | | | | | + | | | | + |
| 47 | <i>Fallopia convolvulus</i> (rdestówka powojowata) | | | | | | | | + | | | | |
| 48 | <i>Convolvulus arvensis</i> (powój polny) | | | | | | | | + | | | | + |
| 49 | <i>Chenopodium hybridum</i> (komosa wielkolistna) | | | | | | | | + | | + | | |
| 50 | <i>Atriplex prostrata</i> (łoboda oszczepowata) | | | | | | | | + | | | | |
| 51 | <i>Atriplex tatarica</i> (łoboda szara) | | | | | | | | + | | + | | |
| 52 | <i>Atriplex patula</i> (łoboda rozłożysta) | | | | | | | | + | | | | |
| 53 | <i>Erigeron ramosus</i> (przymiotno gałęziste) | | | | | | + | | | | + | | |
| 54 | <i>Daucus carota</i> (marchew zwyczajna) | | | | | | | | + | | | | + |
| 55 | <i>Polygonum persicaria</i> (rdest płamisty) | | | | | | | | | | + | | |
| 56 | <i>Plantago lanceolata</i> (babka lancetowata) | | | | | | + | | | + | + | + | + |
| 57 | <i>Achillea millefolium</i> (krwawnik pospolity) | | | | | | | | + | + | + | + | 1 |
| 58 | <i>Chenopodium glaucum</i> (komosa sina) | | | | | | | | | | + | | |

| | | | | | | | | | | | |
|----|--|--|--|---|--|--|--|--|---|---|---|
| 59 | <i>Erysimum cheiranthoides</i> (pszonak drobnokwiatowy) | | | | | | | | + | | 1 |
| 60 | <i>Capsella bursa-pastoris</i> (tasznik pospolity) | | | + | | | | | + | | 1 |
| 61 | <i>Oxalis fontana</i> (szczawik żółty) | | | | | | | | + | + | |
| 62 | <i>Chamomilla recutita</i> (rumianek pospolity) | | | | | | | | + | | |
| 63 | <i>Polygonum lapathifolium</i> ssp. <i>lapathifolium</i> (rdest szczawio- listny typowy – kolankowy) | | | | | | | | + | + | |
| 64 | <i>Descurainia sophia</i> (stulicha psia) | | | | | | | | + | + | + |
| 65 | <i>Epilobium montanum</i> (wierzbowica góraska) | | | | | | | | | | + |
| 66 | <i>Silene vulgaris</i> (lepnicza rozdęta) | | | | | | | | | | + |
| 67 | <i>Veronica persica</i> (przetacznik perski) | | | | | | | | | | + |

Objaśnienia skrótów:

NPK – nawóz N, P₂O₅, K₂O bez nawożenia organicznego,

kR – kompost z odpadów komunalnych Radiowo,

kC – kompost Complex,

kr – kompost roślinny, wyprodukowany z trawy,

kZ – kompost z odpadów komunalnych i roślinnych (ZUSOK),

O – osad z oczyszczania ścieków komunalnych

+ - gatunek wystąpił sporadycznie (1-3 osobniki)

Tabela 2. Cechy morfologiczne i biologiczne dominujących gatunków roślin zebranych w okresie wegetacyjnym 2011 i 2012 roku do oceny biomasy i analiz chemicznych

| Lp. | Gatunek (gwiazdką zaznaczono gatunki wysiane w 2011 r.) | Średnia wysokość łodygi [w cm] | | Żywotność | | Fazy rozwoju | |
|-----|---|--------------------------------|------|-----------|-------|--------------|------------|
| | | 2011 | 2012 | 2011 | 2012 | 2011 | 2012 |
| 1 | <i>Chenopodium album</i> (komosa biała - lebioda) | 27 | 35 | b. db | b. db | w, k, o, z | w, k, o |
| 2 | <i>Chenopodium murale</i> (komosa murowa) | 38 | 56 | b. db | b. db | w, k, o, z | w, k, o |
| 3 | <i>Cirsium arvense</i> (ostrożęć polny) | 21 | 26 | b. db | b. db | w, k, o | w, k, o |
| 4 | <i>Conyza canadensis</i> (konyza kanadyjska) | 31 | 42 | b. db | b. db | w, k, o | w, k, o |
| 5 | * <i>Festuca arundinacea</i> var. Starlett (kostrzewa trzcinowa Starlett) | 74 | 44 | b. db | db | w, k, o | w |
| 6 | * <i>Festuca rubra</i> var. Maxima (kostrzewa czerwona Maxima) | 52 | 37 | b. db | db | w, k, o, z | w, k |
| 7 | <i>Impatiens parviflora</i> (niecierpek drobnokwiatowy) | 34 | 38 | b. db | b. db | w, k | w, k |
| 8 | * <i>Lolium perenne</i> var. Stadion (zycica trwała Stadion) | 45 | 31 | b. db | db | w, k | w |
| 9 | <i>Medicago falcata</i> (lucerna sierpowata) | 21 | 25 | db | db | w, k, z | w, k |
| 10 | * <i>Poa pratensis</i> var. Evona (wiechlina łąkowa Evon) | 36 | 25 | b. db | b. db | w, k, o, z | w, k, o |
| 11 | <i>Polygonum aviculare</i> (rdest ptasi) | 22 | 28 | b. db | b. db | w, k, z | w, k |
| 12 | <i>Polygonum persicaria</i> (rdest plamisty) | 24 | 30 | b. db | db | w, k, z | w, k |
| 13 | <i>Raphanus raphanistrum</i> (rzodkiew świrzepsa) | 39 | 34 | b. db | db | w, k, o, z | w, k, o |
| 14 | * <i>Sinapis alba</i> (gorczyca jasna) | 40 | 15 | b. db | sł. | w, k, z | w, k |
| 15 | <i>Sisymbrium loeselii</i> (stulisz Loesela) | 55 | 71 | b. db | b. db | w, k, o, z | w, k, o, z |
| 16 | <i>Sisymbrium officinale</i> (stulisz lekarski) | 42 | 56 | b. db | db | w, k, o, z | w, k, o, z |

| | | | | | | | |
|----|---|----|----|-------|-------|------------|---------|
| 17 | <i>Solidago canadensis</i> (nawłoc kanadyjska) | 60 | 66 | b. db | b. db | w, k, z | w, k |
| 18 | <i>Sonchus arvensis</i> (mlecz polny) | 32 | 46 | b. db | b. db | w, k, z | w, k |
| 19 | <i>Stellaria media</i> (gwiazdnica pospolita) | 11 | 25 | b. db | b. db | w, k, z | w, k, z |
| 20 | <i>Taraxacum officinale</i> (mniszek pospolity) | 27 | 36 | b. db | b. db | w, k, o, z | w, k, o |
| 21 | <i>Trifolium arvense</i> (koniczyna polna) | 16 | 21 | b. db | b. db | w, k, z | w, k |
| 22 | <i>Trifolium repens</i> (koniczyna biała) | 14 | 20 | b. db | b. db | w, k | w, k |
| 23 | <i>Tussilago farfara</i> (podbiał pospolity) | 28 | 29 | b. db | b. db | w, k, o, z | w, k, o |

Skróty faz rozwojowych roślin: w – wegetatywna, k – kwitnienie, o – owocowanie, z – zamieranie.

Tabela 3. Analiza ekologiczna flory spontanicznej i wysianej w pojemnikach wielowariantowego doświadczenia na złożu odpadów paleniskowych

| Lp. | Gatunek | Gt | Gs | Fz | Gg-h |
|-----|---|--------------|------------|-----------------|---------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | <i>Acer negundo</i> (klon jesionolistny) | <i>Acer</i> | <i>Sp</i> | <i>M</i> | <i>Kn</i> |
| 2 | <i>Achillea millefolium</i> (krwawnik pospolity) | <i>Aster</i> | <i>M-A</i> | <i>H</i> | <i>Ap</i> |
| 3 | <i>Artemisia vulgaris</i> (bylica pospolita) | <i>Aster</i> | <i>Av</i> | <i>H</i> | <i>Ap</i> |
| 4 | <i>Atriplex patula</i> (łoboda rozłożysta) | <i>Cheno</i> | <i>Sm</i> | <i>T</i> | <i>Ar</i> |
| 5 | <i>Atriplex prostrata</i> (łoboda oszczepowata) | <i>Cheno</i> | <i>Sm</i> | <i>T</i> | <i>Kn</i> |
| 6 | <i>Atriplex tatarica</i> (łoboda szara) | <i>Cheno</i> | <i>Sm</i> | <i>T</i> | <i>Kn</i> |
| 7 | <i>Bidens frondosa</i> (uczep amerykański) | <i>Aster</i> | <i>Bt</i> | <i>T</i> | <i>Kn</i> |
| 8 | <i>Bidens tripartita</i> (uczep trójlistkowy) | <i>Aster</i> | <i>Bt</i> | <i>T</i> | <i>Ap</i> |
| 9 | <i>Calamagrostis epigejos</i> (trzcinnik piaskowy) | <i>Poa</i> | <i>Ea</i> | <i>G, H</i> | <i>Ap</i> |
| 10 | <i>Capsella bursa-pastoris</i> (tasznik pospolity) | <i>Bras</i> | <i>Av</i> | <i>T, H</i> | <i>Ar</i> |
| 11 | <i>Chamomilla recutita</i> (rumianek pospolity) | <i>Aster</i> | <i>Sm</i> | <i>T</i> | <i>Ar</i> |
| 12 | <i>Chenopodium album</i> (komosa biała – lebioda) | <i>Cheno</i> | <i>Sm</i> | <i>T</i> | <i>Ap</i> |
| 13 | <i>Chenopodium glaucum</i> (komosa sina) | <i>Cheno</i> | <i>Sm</i> | <i>T</i> | <i>Ap</i> |
| 14 | <i>Chenopodium hybridum</i> (komosa wielkolistna) | <i>Cheno</i> | <i>Sm</i> | <i>T</i> | <i>Ar</i> |
| 15 | <i>Chenopodium murale</i> (komosa murowa) | <i>Cheno</i> | <i>Sm</i> | <i>T</i> | <i>Ar</i> |
| 16 | <i>Chenopodium polyspermum</i> (komosa wielonasienna) | <i>Cheno</i> | <i>Sm</i> | <i>T</i> | <i>Ap</i> |
| 17 | <i>Chenopodium urticum</i> (komosa trójkątna) | <i>Cheno</i> | <i>Sm</i> | <i>T</i> | <i>Ar, Ef</i> |
| 18 | <i>Cirsium arvense</i> (ostrożeń polny) | <i>Aster</i> | <i>Sm</i> | <i>G</i> | <i>Ap</i> |
| 19 | <i>Cirsium oleraceum</i> (ostrożeń warzywny) | <i>Aster</i> | <i>M-A</i> | <i>H</i> | <i>Ap</i> |
| 20 | <i>Cirsium vulgare</i> (ostrożeń lancetowaty) | <i>Aster</i> | <i>Av</i> | <i>H</i> | <i>Ap</i> |
| 21 | <i>Convolvulus arvensis</i> (powój polny) | <i>Conv</i> | <i>Sm</i> | <i>G, H, Li</i> | <i>Ap</i> |
| 22 | <i>Coryza canadensis</i> (koryza kanadyjska) | <i>Aster</i> | <i>Sm</i> | <i>T, H</i> | <i>Kn</i> |
| 23 | <i>Dactylis glomerata</i> (kupkówka pospolita) | <i>Poa</i> | <i>M-A</i> | <i>H</i> | <i>Ap</i> |
| 24 | <i>Daucus carota</i> (marchew zwyczajna) | <i>Apia</i> | <i>M-A</i> | <i>H</i> | <i>Ap</i> |
| 25 | <i>Descurainia sophia</i> (stulicha psia) | <i>Bras</i> | <i>Av</i> | <i>T</i> | <i>Ar</i> |
| 26 | <i>Epilobium montanum</i> (wierzbownica góraska) | <i>Onag</i> | <i>Av</i> | <i>H</i> | <i>Ap</i> |
| 27 | <i>Erigeron ramosus</i> (przymiotno gałęziste) | <i>Aster</i> | <i>Av</i> | <i>H</i> | <i>Kn</i> |
| 28 | <i>Erysimum cheiranthoides</i> (pszonak drobnokwiatowy) | <i>Bras</i> | <i>Av</i> | <i>T</i> | <i>Ar</i> |
| 29 | <i>Fallopia convolvulus</i> (rdestówka powojowata) | <i>Poly</i> | <i>Sm</i> | <i>T, H</i> | <i>Ar</i> |
| 30 | * <i>Festuca arundinacea</i> var. Starlett (kostrzewa trzcinowa Starlett) | <i>Poa</i> | <i>M-A</i> | <i>H</i> | <i>Ap</i> |
| 31 | * <i>Festuca rubra</i> var. Maxima (kostrzewa czerwona Maxima) | <i>Poa</i> | <i>M-A</i> | <i>H</i> | <i>Ap</i> |
| 32 | <i>Geranium pyrenaicum</i> (bodziszek pirenejski) | <i>Gera</i> | <i>Av</i> | <i>H</i> | <i>Kn</i> |
| 33 | <i>Impatiens parviflora</i> (niecierpek drobnokwiatowy) | <i>Bals</i> | <i>Av</i> | <i>T</i> | <i>Kn</i> |

| | | | | | |
|----|--|-------|-----|-------|-------|
| 34 | <i>Lamium maculatum</i> (jasnota plamista) | Lam | Av | H | Ap |
| 35 | * <i>Lolium perenne</i> var. Stadion (życica trwała Stadion) | Poa | M-A | H | Ap |
| 36 | <i>Lycopus europaeus</i> (karbieniec pospolity) | Lam | Ag | H, Hy | Ap |
| 37 | <i>Matricaria maritima</i> subsp. <i>inodora</i> (maruna nadmorska bezwonna) | Aster | Sm | H, T | Ar |
| 38 | <i>Medicago falcata</i> (lucerna sierpowata) | Fab | F-B | H | Ap |
| 39 | <i>Medicago lupulina</i> (lucerna nerkowata) | Fab | Sm | H, T | Ap |
| 40 | <i>Oxalis fontana</i> (szczawik żółty) | Oxa | Sm | G | Kn |
| 41 | <i>Plantago intermedia</i> (babka wielonasienna) | Plan | I-N | H, T | Ap |
| 42 | <i>Plantago lanceolata</i> (babka lancetowata) | Plan | M-A | H | Ap |
| 43 | <i>Plantago major</i> (babka zwyczajna) | Plan | Sm | H | Ap |
| 44 | * <i>Poa pratensis</i> var. Evona (wiechlina łąkowa Evon) | Poa | M-A | H | Ap |
| 45 | <i>Polygonum aviculare</i> (rdest ptasi) | Poly | Sm | T | Ap |
| 46 | <i>Polygonum lapathifolium</i> ssp. <i>lapathifolium</i> (rdest szczawiolistny typowy - kolankowy) | Poly | Bt | T | Ap |
| 47 | <i>Polygonum persicaria</i> (rdest plamisty) | Poly | Sm | T | Ap |
| 48 | <i>Raphanus raphanistrum</i> (rzodkiew świrzepa) | Bras | Sm | T | Ar |
| 49 | <i>Rumex acetosa</i> (szczaw zwyczajny) | Poly | M-A | H | Ap |
| 50 | <i>Silene vulgaris</i> (lepnica rozdęta) | Cary | Sm | C, H | Ap |
| 51 | * <i>Sinapis alba</i> (gorczyca jasna) | Bras | Sm | T | Kn Ef |
| 52 | <i>Sinapis arvensis</i> (gorczyca polna - ognicha) | Bras | Sm | T | Ar |
| 53 | <i>Sisymbrium loeselii</i> (stulisz Loesela) | Bras | Sm | T, H | Kn |
| 54 | <i>Sisymbrium officinale</i> (stulisz lekarski) | Bras | Av | T | Ar |
| 55 | <i>Solidago canadensis</i> (nawłóć kanadyjska) | Aster | Av | G, H | Kn |
| 56 | <i>Solidago gigantea</i> (nawłóć późna) | Aster | Av | G, H | Kn |
| 57 | <i>Sonchus arvensis</i> (mlecz polny) | Aster | Sm | G, H | Ap |
| 58 | <i>Sonchus asper</i> (mlecz kolczasty) | Aster | Sm | T | Ap |
| 59 | <i>Sonchus oleraceus</i> (mlecz zwyczajny) | Aster | Sm | H, T | Ar |
| 60 | <i>Stellaria media</i> (gwiazdnica pospolita) | Cary | Sm | T, H | Ap |
| 61 | <i>Taraxacum officinale</i> (mniszek pospolity) | Aster | M-A | H | Ap |
| 62 | <i>Trifolium arvense</i> (koniczyna polna) | Fab | K-C | T | Ap |
| 63 | <i>Trifolium hybridum</i> (koniczyna białoróżowa) | Fab | M-A | H | Ap |
| 64 | <i>Trifolium repens</i> (koniczyna biała) | Fab | M-A | C, H | Ap |
| 65 | <i>Tussilago farfara</i> (podbiał pospolity) | Aster | Av | G | Ap |
| 66 | <i>Veronica persica</i> (przetacznik perski) | Scro | Sm | T | Kn |
| 67 | <i>Vicia cracca</i> (wyka ptasia) | Fab | M-A | H | Ap |

Objaśnienia skrótów:

1. Lp. – liczba porządkowa;
2. Gatunek – łacińska nazwa gatunku (Mirek i in., 2002);
3. Gt – grupa taksonomiczna (systematyczna) w randze rodziny: *Acer* – *Aceraceae* (klonowate), *Aster* – *Asteraceae* (złożone), *Cheno* – *Chenopodiaceae* (komosowate), *Poa* – *Poaceae* (trawy), *Bras* – *Brassicaceae* (krzyżowe), *Conv* – *Convolvulaceae* (powojowate), *Apia* – *Apiaceae* (baldaszkowate), *Onag* – *Onagraceae* (wiesiołkowate), *Poly* – *Polygonaceae* (rdestowate), *Gera* – *Geraniaceae* (bodziszkowate), *Bals* – *Balsaminaceae* (niecierpkowate), *Lam* – *Lamiaceae* (wargowe), *Fab* – *Fabaceae* (motylkowate), *Oxa* – *Oxalidaceae* (szczawikowate), *Plan* – *Plantaginaceae* (babkowate), *Scro* – *Scrophulariaceae* (trędownikowate), *Cary* – *Caryophyllaceae* (goździkowate);
4. Gs – grupa syntaksonomiczna: *Av* – *Artemisietea*, *Sm* – *Stellarietea mediae*, *M-A* – *Molinio-Arrhenatheretea*, *F-B* – *Festuco-Brometea*, *T-Gs* – *Trifolio-Geranietea sanguinei*, *Ea* – *Epilobietea*

angustifolia, *Ai-r* – *Agropyretea intermedio-repentis*, *Sp* – *Salicetea purpureae*, *Q-F* – *Quercus-Fagetea*, *Vc* – *Violetea calaminariae*; *K-C* – *Koelerio glaucae-Corynephoretea canescentis*, *I-N* – *Isoëto-Nanojuncetea*, *Bt* – *Bidentetea tripartiti*, *V-P* – *Vaccinio-Piceetea*, *R-P* – *Rhamno-Prunetea*, *At* – *Asteretea trifolium*, *Ag* – *Alnetea glutinosae*, *Gu* – gatunek uprawiany;

5. Fz – formy życiowe Raunkiaera gatunków (Ellenberg & all., 1992; Zarzycki i in. 2002): M – megafanerofity (drzewa ponad 5 m wysokości), N – nanofanerofity (krzewy i niskie drzewa do 5 m wysokości), Ch – chamefity drzewiaste, C – chamefity zielne (krzewinki zielne), H – hemikryptofity (wieloletnie rośliny trwałe), G – geofity (trwałe rośliny kłączowe lub cebulowe), T – terofity (rośliny jednoroczne zimujące w postaci nasion); li – liany (rośliny wymagające podpór), pp – półpasazyty;
6. Gg-h – grupy geograficzno-historyczne gatunków (Sudnik-Wójcikowska i Koźniewska, 1988); Krawiecowa i Rostański, 1972): Ap – apofity (gatunki rodzime), Ar – archeofit (starzy przybysze), Kn – kenofit (nowi przybysze zadowoleni na trwałe), Ef – efemerofit (nowi przybysze nie zadowoleni na trwałe), A – przypuszczalnie antropofit, ? – grupa niepewna;

* gwiazdką zaznaczono gatunki wysiane w 2011 r.

Tabela 4. Udział rodzin we florze w drugim roku wielowariantowego doświadczenia

| Rodziny | Całkowita flora | | Liczba i procent gatunków w wariantach nawożenia ^a | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------|-------|---|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| | | | NPK | | kR | | kC | | kr | | kZ | | O | |
| | liczba | % | liczba | % | liczba | % | liczba | % | liczba | % | liczba | % | liczba | % |
| <i>Asteraceae</i> – złożone | 18 | 26,9 | 12 | 37,5 | 11 | 36,7 | 12 | 35,3 | 11 | 28,2 | 15 | 33,3 | 11 | 25,6 |
| <i>Chenopodiaceae</i> – komosowate | 9 | 13,4 | 1 | 3,1 | 4 | 13,3 | 3 | 8,8 | 6 | 15,4 | 5 | 11,1 | 2 | 4,7 |
| <i>Brassicaceae</i> – krzyżowe | 8 | 11,9 | 3 | 9,4 | 6 | 20,0 | 4 | 11,8 | 4 | 10,2 | 8 | 17,8 | 8 | 18,6 |
| <i>Fabaceae</i> – motylkowate | 6 | 8,9 | 4 | 12,5 | 3 | 10,0 | 3 | 8,8 | 3 | 7,7 | 4 | 8,9 | 5 | 11,6 |
| <i>Poaceae</i> – trawy | 6 | 8,9 | 5 | 15,6 | 5 | 16,7 | 5 | 14,7 | 4 | 10,2 | 4 | 8,9 | 4 | 9,3 |
| <i>Polygonaceae</i> – rdestowate | 5 | 7,5 | 1 | 3,1 | 1 | 3,3 | 1 | 2,9 | 4 | 10,2 | 4 | 8,9 | 2 | 4,7 |
| <i>Plantaginaceae</i> – babkowate | 3 | 4,5 | 1 | 3,1 | – | – | 2 | 5,9 | 2 | 5,1 | 2 | 4,4 | 2 | 4,7 |
| <i>Lamiaceae</i> – wargowe | 2 | 3,0 | 2 | 6,3 | – | – | 1 | 2,9 | – | – | – | – | – | – |
| <i>Caryophyllaceae</i> – goździkowate | 2 | 3,0 | 1 | 3,1 | – | – | 1 | 2,9 | 1 | 2,6 | 1 | 2,2 | 2 | 4,7 |
| <i>Balsaminaceae</i> – niecierpkowate | 1 | 1,5 | 1 | 3,1 | – | – | 1 | 2,9 | 1 | 2,6 | 1 | 2,2 | 1 | 2,3 |
| <i>Apiaceae</i> – baldaszkiowate | 1 | 1,5 | – | – | – | – | – | – | 1 | 2,6 | – | – | 1 | 2,3 |
| <i>Scrophulariaceae</i> – trędownikowate | 1 | 1,5 | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | 1 | 2,3 |
| <i>Onagraceae</i> – wiesiołkowate | 1 | 1,5 | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | 1 | 2,3 |
| <i>Geraniaceae</i> – bodziszkiowate | 1 | 1,5 | – | – | – | – | – | – | 1 | 2,6 | – | – | 1 | 2,3 |
| <i>Convolvulaceae</i> – powojowate | 1 | 1,5 | – | – | – | – | – | – | 1 | 2,6 | – | – | 1 | 2,3 |
| <i>Oxalidaceae</i> – szczawikowate | 1 | 1,5 | – | – | – | – | – | – | – | – | 1 | 2,2 | 1 | 2,3 |
| <i>Aceraceae</i> – klonowate | 1 | 1,5 | 1 | 3,1 | – | – | 1 | 2,9 | – | – | – | – | – | – |
| Razem | 67 | 100,0 | 32 | 100,0 | 30 | 100,0 | 34 | 100,0 | 39 | 100,0 | 45 | 100,0 | 43 | 100,0 |

Oznaczenia skrótów dla wariantów nawożenia – patrz tab. 1.

Analiza fitosocjologiczna i syntaksonomiczna wykazała udział 10 grup syntaksonomicznych w randze klas. Niemal połowę (30) stanowiły gatunki roślin antropogenicznych i nitrofilnych zbiorowisk pól uprawnych (klasa *Stellarietea mediae*), porastających je spontanicznie w warunkach skrajnej antropopresji. Pozostałe gatunki w większości należą do grupy nitrofilnych zbiorowisk na siedliskach ruderalnych (klasa *Artemisietea vulgaris*) oraz mezo- i eutroficznych zbiorowisk łąkowych występujących na glebach mineralnych i organiczno-mineralnych (klasa *Molinio-Arrhenatheretea*) – po 14 gatunków. Pozostałe 7 grup syntaksonomicznych reprezentowane są przez 1-3 gatunki.

Wśród zidentyfikowanych gatunków roślin naczyniowych prawie połowa (45%) to rośliny jednoroczne (terofity). Duży udział miały także hemikryptofity (39%), czyli rośliny wieloletnie z pąkami zimującymi na powierzchni gleby, zwykle ukrytych w różyczce liści. Znaczący udział (12%) przypadł na geofity, czyli rośliny skrywające pąki w glebie.

Udział gatunków roślin w wariantach nawozowych

Wariant NPK bez nawożenia organicznego (NPK). W pierwszym roku doświadczenia (2011 r.) niemal połowę powierzchni pojemników wariantu NPK zajmowały wysiane 4 gatunki traw. Natomiast pokrycie gorczycy jasnej oszacowano na ok. 10%. Ponad 20 pozostałych gatunków roślin dwuliściennych zasiedliło się spontanicznie, m. in. były to: koniczyna biała, konyza (przymiotno) kanadyjska, komosa biała (lebioda). W 2012 roku udział traw zmalał do nieco ponad 10%, a gorczycy jasnej nie stwierdzono (gatunek jednoroczny). W stosunku do roku ubiegłego odnotowano zwiększenie udziału niecierpka drobnokwiatowego, stulisza Loesela, komosy białej, mlecza polnego, koniczyny polnej, a ogólna liczba wyniosła 32 gatunki.

W wariantcie tym zaznaczył się udział roślin motylkowatych dwóch gatunków koniczyn (ok. 15% pokrycia) oraz gatunków segetalnych z przewagą komosy białej (ponad 20% pokrycia). Większość gatunków należała do terofitów, roślin jednorocznych zimujących w postaci nasion. Pod względem udziału rodzin we florze analizowanego wariantu dominuje rodzina złożonych (37,5% gatunków), traw (15,6%) i motylkowatych (12,5%). Świadczyć to może o dość dobrze zapoczątkowanej rekultywacji.

Wariant z kompostem Radiowo (kR). W tym wariantcie w pierwszym roku doświadczenia stwierdzono 26 gatunków roślin. Wysiane trawy i gorczyca zajęły niemal $\frac{3}{4}$ powierzchni, odpowiednio ok. 50 i 25%. W drugim roku liczba gatunków nie uległa większej zmianie, ale nastąpiła zmiana struktury jakościowej flory. Zmalało pokrycie traw do ok. 20% na korzyść kilkunastu gatunków roślin dwuliściennych. Były to głównie: mniszek pospolity, mlecze polny, komosa murowa, komosa biała, stulisz Loesela, stulisz lekarski, rzodkiew świrzepa, koniczyna biała. Łącznie notowano 30 gatunków.

W wariantcie z kompostem Radiowo, powierzchnie pojemników pokrywały rośliny komosowate (ponad 30% pokrycia), krzyżowe (ok. 20%) i motylkowate (20%). Były to zarówno rośliny jednoroczne (terofity), jak i hemikryptofity (wieloletnie rośliny

trwale), chamefity (krzewinki) zielne i geofity (rośliny kłączowe). Mozaika form życiowych, szczególnie z udziałem roślin wieloletnich, może się przyczynić do podwyższenia sprawności rekultywacyjnej podłoża. Natomiast najliczniejsze w gatunki rodziny - poza rodziną złożonych (36,7%) – okazały się: krzyżowe (20%), trawy (15,6%) i komosowate (13,3%). Udział roślin z tych rodzin może świadczyć o poprawnym przebiegu rekultywacji.

Wariant z kompostem Complex (kC). W wariantcie z kompostem Complex (kC) w 2011 roku stwierdzono 25 gatunków roślin. Gatunki wysiane miały dominujący udział w pokryciu powierzchni. Trawy pokrywały ok. 60% a gorczyca ok. 20% powierzchni. Pozostałe powierzchnie zasiedlało kilka spontanicznie wkraczających gatunków roślin dwuliściennych. W roku 2012 liczba gatunków wzrosła do 34, i jednocześnie diametralnie zmieniła się kompozycja ilościowa roślin z udziałem gatunków roślin dwuliściennych. Wysiane trawy pokrywały już tylko ok. 10% powierzchni bez udziału gorzycy. Odnotowano wyraźną dominację spontanicznych gatunków dwuliściennych. Spośród nich w wariantcie tym dominowały: komosa biała, niecierpek drobnokwiatowy, konyza kanadyjska, koniczyna polna, koniczyna biała. Notowano także ponad 20 innych gatunków z niewielkim lub sporadycznym udziałem.

Największy udział miały rośliny komosowate - z pokryciem ponad 30% - z dominującą lebiodą (komosą białą), motylkowate (ok. 20% pokrycia), gatunki roślin synantropijnych, głównie z takich rodzin jak: niecierpkowate, złożone i krzyżowe (ponad 30% pokrycia). Dominacja terofitów w tym etapie rekultywacji nie świadczy o jej zadawalającej efektywności, ale można prognozować, że duży udział roślin komosowatych przyczyni się do nasilenia procesu glebotwórczego w latach następnych. Przemawia za tym także procentowa przewaga obecności gatunków z klasycznych rodzin rekultywacyjnych: trawy (14,7%), krzyżowe (11,8%), motylkowate i komosowate (po 8,8%).

Wariant z kompostem roślinnym (kr). W roku 2011 notowano 22 gatunki roślin. Wyraźnie dominowały wysiane gatunki traw (ok. 70% pokrycia) z kilkoma osobnikami gorzycy jasnej. Pozostałą powierzchnię porastały głównie: gwiazdnica pospolita, podbiał pospolity, konyza kanadyjska. W roku 2012 pokrycie traw zmalało do 10%. Nastąpiła wyraźna ekspansja gatunków roślin dwuliściennych, z których największy udział miały: komosa biała, mlecz polny, nawłóć kanadyjska, konyza kanadyjska. W sezonie wegetacyjnym w pojemnikach tego wariantu notowano 39 gatunków.

Złoże popiołu nawożone kompostem roślinnym zainicjowało vegetację szeregu roślin rekultywacyjnych z rodziny komosowatych – 15,4% ogółu gatunków (m. in. lebioda i kilka gatunków łobód), krzyżowych – 10,2%, (gorczyca jasna i polna, stulisz i tasznik) motylkowatych – 7,7% (koniczyna biała i białoróżowa, lucerna nerkowata), oraz roślin synantropijnych, głównie z rodziny złożonych – 28,2% (nawłóć kanadyjska, konyza kanadyjska, mlecz polny, mniszek pospolity, podbiał pospolity i in.). Efektywność rekultywacji w tym wariantcie nawożenia powiększało osiedlanie się dwuliściennych roślin wieloletnich (geofitów, hemikryptofitów, chamefitów zielnych).

Wariant z kompostem ZUSOK (kZ). Na większości powierzchni tego wariantu w 2011 roku porastały gatunki traw (ok. 80%) z niewielkim udziałem gorczycy jasnej. Ponadto notowano kilkanaście osobników samosiewek roślin dwuliściennych. W następnym roku doświadczenia trawy wyraźnie ustąpiły, zasiedlając zaledwie 20% powierzchni. Stwierdzono 41 gatunków roślin dwuliściennych. Spośród nich największe pokrycie miały: niecierpek drobnokwiatowy (ok. 20%), mniszek pospolity (ok. 15%), komosa biała, stulisz Loesela i mleczeń polny (po ok. 10%).

Skuteczność kompostu ZUSOK była zadawalająca. Rośliny komosowate pokrywały ok. 10% powierzchni (11,1% liczby gatunków z rodzaju lebioda i komosa); krzyżowe nieco ponad 5% pokrycia (17,8% liczby gatunków, m. in. stulisz Loesela, rzodkiew świrzepsa, stulicha psia). W niewielkim procencie odnotowano także udział gatunków z rodziny motylkowych (koniczyna biała, białoróżowa i polna, lucerna nerkowata). Duży udział miały także rośliny ruderalne, chwasty segetalne a także gatunki łąkowe.

Wariant z osadem ściekowym (O). Powierzchnie wariantu osadowego w roku 2011 były porośnięte przez wysiane gatunki traw (ponad 80% pokrycia) i sporadycznie przez gorczycę. Wśród pozostałych 16 gatunków roślin dwuliściennych największy udział miała gwiazdnica pospolita. W roku następnym zmalał niemal trzykrotnie udział traw. Powierzchnie te zostały opanowane przez 39 gatunków roślin dwuliściennych; dominowały: niecierpek drobnokwiatowy, mleczeń polny, lucerna sierpowata, komosa biała, nawłóć późna (olbrzymia), gwiazdnica pospolita i in.

Formowanie się pokrywy roślinnej w pierwszym etapie rekultywacji, z wykorzystaniem osadu ściekowego, przebiegało dość dobrze z dużym udziałem roślin synantropijnych, szczególnie chwastów segetalnych. Można przypuszczać, że dalsze etapy mogą przebiegać sprawniej za przyczyną występowania (jeszcze z niewielkim pokryciem) aż kilkunastu gatunków z rodziny motylkowych (np. lucerna sierpowata i nerkowata, koniczyna polna i biała) i krzyżowych (np. stulisz lekarski, pszonak drobnokwiatowy, tasznik pospolity, stulicha psia). Powierzchnie tego wariantu były opanowane przez gatunki z rodziny złożonych (25,6% liczby gatunków), krzyżowych (18,6%) i motylkowatych (11,6%).

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Nawożenie składowisk odpadów paleniskowych kompostem lub osadem ściekowym tworzy warunki do rozwoju roślin i gleby. Duże znaczenie dla wzrostu roślin oraz inicjowaniu procesu glebotwórczego odegrały trawy i gorczyca jasna, a w roku następnym spontanicznie wykształcone rośliny.

W czasie dwuletniego doświadczenia notowano 67 gatunków roślin należących do 17 taksonów w randze rodzin i 10 grup syntaksonomicznych. Najliczniejszy udział miały gatunki z rodzin: złożone, komosowate, krzyżowe i motylkowate; spośród grup syntaksonomicznych dominowały gatunki chwastów segetalnych z klasy *Stellarietea mediae*, gatunki ruderalne z klasy *Artemisietea vulgaris* oraz łąkowe z klasy *Molinio-*

-*Arrhenatheretea*. Z kolei spośród form życiowych najwięcej było terofitów (45%) i hemikryptofitów (39%).

Ze względu na bardzo dużą dynamikę naturalnej (spontanicznej) sukcesji roślin, różnej w poszczególnych wariantach doświadczenia, przedstawione wyniki i wnioski należy oceniać stosownie do kolejnego etapu rozwoju procesu glebotwórczego, z uwzględnieniem zmienności warunków meteorologicznych, zwłaszcza wielkości i rozkładu opadów atmosferycznych.

PIŚMIENNICTWO

1. Dyguś K. H., Siuta J., Wasiak G., Madej M. 2012. Roślinność składowisk odpadów komunalnych i przemysłowych. Wyd. Wyższej Szkoły Ekologii i Zarządzania, Warszawa: ss. 134.
2. Gilewska M. 1999. Utilization of sewage sludge in the reclamation of post-mining soil and ash disposal sites. Roczniki AR Poznań, 310. Melioracje i Inżynieria Środowiska, 20/II: 273-281.
3. Gilewska M., Przybyła Cz. 2011. Wykorzystanie osadów ściekowych w rekultywacji składowisk popiołowych. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln. PAN, 477: 217-222.
4. Góral S. 2001. Roślinność zielna w ochronie i rekultywacji gruntów. Inżynieria Ekologiczna, 3: 161-178.
5. Hryniewicz J., Balicka N., Giedrojc B., Małysowa E. 1972. Badania nad utrwalaniem i zagospodarowaniem hałdy popiołowej w elektrowni „Halemba”. XIX Zjazd Naukowy PTGleb., Puławy.
6. Kozłowska B. 1995. Zastosowanie osadu ściekowego do biologicznego zagospodarowania składowisk odpadów paleniskowych. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln. PAN, 418: 859-868.
7. Klimont K. 2011. Rekultywacyjna efektywność osadów ściekowych na bezglebowym podłożu wapna poflotacyjnego i popiołów paleniskowych. Problemy Inżynierii Rolniczej, 2/2011: 165-176.
8. Matuszkiewicz W. 2001. Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.
9. Mirek Z., Piękoś-Mirkowa H., Zając A. & Zając M., 2002. Flowering Plants and pteridophytes of Poland a checklist. Krytyczna lista roślin naczyniowych Polski. Wyd. W. Szafer Institute of Botany, PAS, Kraków.
10. Polkowski M., Sułek St. 1999. Kompostowanie masy roślinnej ze strefy bezleśnej przy Zakładach Azotowych Puławy. Kompostowanie i użytkowanie kompostu. IOŚ, IUNG, PTIEkol. Warszawa: 71-74.
11. Rutkowski L. 1998. Klucz do oznaczania roślin naczyniowych Polski niżowej. Wyd. Naukowe PWN. Warszawa.
12. Siuta J. 1999. Rekultywacyjna efektywność kompostu z Radiowa. Kompostowanie i użytkowanie kompostu. I. Konferencja N-T. Puławy-Warszawa: 37-54.
13. Siuta J. 2002. Przyrodnicze użytkowanie odpadów. IOŚ, Warszawa.
14. Siuta J. 2005. Rekultywacyjna efektywność osadów ściekowych na składowiskach odpadów przemysłowych. Acta Agrophysica, 2005, 5(2): 417-425.
15. Siuta J. 2007. System uprawy i kompostowania roślin na składowisku odpadów posodowych w Janikowie z zastosowaniem osadów ściekowych. Inż. Ekol. 19:38-58 + 6 fot.

16. Siuta J., Kutla 2005. Rekultywacyjne działanie osadów ściekowych na złożach odpadów paleniskowych w energetyce węglowej. *Inż. Ekol.* 10: 58-69.
17. Siuta J., Wasiak G., Chłopecki K., Mamełka D. 1997. Rekultywacja efektywności osadu ściekowego na bezglebowych podłożach w doświadczeniu lizymetrycznym. II konf. Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych. Puławy-Lublin-Jeziórko: 135-154.
18. Siuta J., Wasiak G., Madej M. 2008. Rekultywacja efektywności kompostów i osadów ściekowych na złożu odpadów paleniskowych w doświadczeniu modelowym. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 34: 145-172 + 26 fot.
19. Wasiak G., Mamełka D. 1999. Kompostowanie frakcji organicznej wyselekcjonowanej z odpadów komunalnych w Warszawie. Kompostowanie i użytkowanie kompostu. IOŚ, IUNG, PTIEkol., Puławy-Warszawa: 55-60.
20. Wasiak G., Mamełka D., Jaroszyńska J. 1999. Kompostowanie odpadów roślinnych z terenów zieleni miejskiej Warszawy. Kompostowanie i użytkowanie kompostu. IOŚ, IUNG, PTIEkol. Warszawa: 61-69.
21. Wysocki W. 1984. Reclamation of Alkali Ash Piles USEPA Cincinnati. Ohio.
22. Wysocki W. 1988. Rekultywacja składowisk odpadów elektrowni węglowych. *Sozologia i Sozotechnika*, 26, AGH Kraków.
23. Zarzycki K., Trzczińska-Tacik H., Różański W., Szeląg Z., Wołek J. & Korzeniak U. 2002. Ecological indicator values of vascular plants of Poland. W. Szafer Institute of Botany, PAS, Kraków.
24. Żak M. 1972. Wpływ powłok asfaltowych przeciwdziałających wtórnemu pyleniu składowisk popiołów lotnych na roślinność. XIX Zjazd Naukowy PTGlebo., Puławy.

VEGETATION OF A MULTI-VARIANT MODEL EXPERIMENT ON COAL COMBUSTION WASTE DEPOSITS

Abstract

The first phase of the experiment concerning the reclamation efficiency of composts and sewage sludge was carried out from 2006 to 2007 [Siuta et al., 2008]. The second phase which included the examination of flora formed mainly through natural succession was carried out between 2011 and 2012. The following were examined: vegetation cover, density and vitality of plants, phases of generative development and biometrical characteristics of plants. The relevant species were subjected to morphological, biological and ecological examination; also their adherence to taxonomic, syntaxonomic, geographical-historical and life-form group was examined. The results of floristic and ecological research have proven that composts and sewage sludge constitute a favorable environment for the development of spontaneous vegetation cover on coal combustion waste deposits.

Keywords: biological reclamation, vegetation, coal combustion waste, compost, sewage sludge.